

天山麦茨巴赫冰川湖突发洪水特征及其与气候关系的研究

刘时银 程国栋 刘景时

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)

摘 要 根据 1956 年以来天山昆马力克河麦茨巴赫冰川湖突发性洪水记录, 分析了该冰川湖突发性洪水与气候要素特别是气温间的关系, 认为冰川湖迅猛排水受制于年内气温波动引起的伊力尔切克冰川消融期与消融强度的变化, 该冰川湖迅猛排水时的洪峰流量与总洪水量具有逐年增加的趋势, 这种增加趋势与天山地区区域性温暖化有密切的关系。

关键词 麦茨巴赫冰川湖 冰川湖突发洪水 区域温暖化

中图法分类号 P343. 7

第一作者简介 刘时银, 男, 34 岁, 副研究员, 1986 年毕业于兰州大学水文地质与工程地质专业, 1996 年获中国科学院兰州冰川冻土研究所理学博士学位。现从事冰川学研究。

1 前言

冰川阻塞湖或冰川内、冰川下湖泊的突然排水以及由此诱发的洪水和泥石流灾害是冰岛、秘鲁、美国、加拿大、俄罗斯、吉尔吉斯、哈萨克斯坦、中国、尼泊尔等世界上 10 多个国家和地区频繁发生的冰川灾害类型之一 (张祥松等, 1990)。对冰川湖溃决洪水的系统研究始于本世纪 30 年代 (Thorarinsson, 1939)。进入本世纪 60~70 年代以后, 一批国际知名冰川学家对发生冰湖溃决洪水时的冰川内水流物理现象、冰湖排水机制及其数值模拟等方面进行了深入的探讨 (Weertman, 1957, 1962, 1964; Lliboutry, 1968, 1979; Nye, 1969, 1970; Mathews, 1973; Clarke, 1982, 1987)。中国于 50 年代末系统开展冰川学研究以来, 对发源于喀喇昆仑山的叶尔羌河冰川阻塞湖溃决突发洪水给予了很高的重视, 在国家 and 新疆维吾尔自治区、西藏自治区等的大力支持下以及应尼泊尔政府的邀请, 于 80 年代初期以来先后对叶尔羌河上游、喜马拉雅山的朋曲与波曲河流域、雅鲁藏布江支流的年楚河流域的冰川阻塞湖及冰碛阻塞湖的分布、冰湖突发性排水机制等方面进行了系统的考察和研究 (张祥松等, 1990; Sino - Nepalese Investigation of Glacier Lake

Outburst Floods in the Himalayas, 1988; Xu Daoming, 1988; 陈储军等, 1996)。

麦茨巴赫冰川湖 (42°13' N, 79°52' E), 湖面海拔 3 600 m, 位于中国 - 吉尔吉斯斯坦边界的天山托木尔 - 汗腾格里山区, 北伊力尔切克冰川表面、受阻于南伊力尔切克冰川并接受来自两支冰川的融水蓄积而成。南伊力尔切克冰川是天山山区最长大的冰川, 该冰川长 61.1 km, 面积 574.4 km²; 北伊力尔切克冰川长 41.1 km, 面积 247.2 km²。如果按消融区面积占冰川总面积的 50%、消融区冰面年平均消融深为 1 500 mm 计算, 则由这两支冰川每年提供的冰川融水可达 $8.25 \times 10^8 \text{ m}^3$, 可见由这两支冰川提供的水量是十分丰富的, 正是如此麦茨巴赫冰川湖有十分丰富的水分补给。麦茨巴赫冰川湖及其周围发育的冰川为中国阿克苏河支流昆马力克河河源区 (图 1), 该湖已有近百年发生突发性洪水的历史。尽管如此, 对这一冰川湖突发洪水的研究却是十分有限的 (刘景时, 1993)。昆马力克河与托什干河在距离阿克苏市西大桥以上 12 km 处汇合而成阿克苏河。阿克苏河流域总面积 $5.2 \times 10^4 \text{ km}^2$, 平原面积 $1.4 \times 10^4 \text{ km}^2$, 水资源总量达 $72.6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 就是在这一宽广的冲积平原上分布有阿克苏市、温宿和阿瓦提两县, 由于阿克苏河

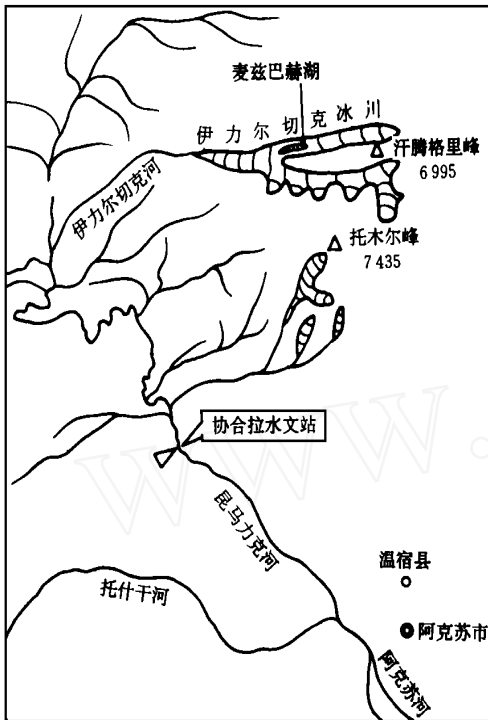


图1 麦茨巴赫冰川湖地理位置图

Fig. 1 Sketch map showing the location of Lake Mertzbakher

水量十分充沛, 冲积平原地区光热资源丰富, 因此该地区是十分理想的农业高产丰产开发区。目前利用世界银行贷款上马的“新疆塔里木盆地二期扶贫项目阿克苏河流域子项目”正是瞄准阿克苏河流域水土光热资源优势, 通过改、修建一批水利设施, 改善阿克苏地区用水条件, 促进本地区的农业快速发展, 恢复塔里木河流域濒危的绿洲生态系统。

但是, 麦茨巴赫湖频繁暴发的突发性冰川洪水灾害却是妨碍扶贫开发, 危害工农业生产正常开展的重要自然因子, 每次溃决的冰川洪水不仅具有突发性, 而且往往携带大量碎石、泥沙, 冲毁渠道、农田、村庄, 冲断桥涵。据不完全统计, 在阿克苏河灌区中, 受洪水威胁的农田近 30 万亩, 洪水威胁的城镇有阿瓦提和温宿县及阿克苏市。由于洪水输送大量的泥沙和碎石, 常使灌溉渠系淤积严重, 调查资料显示整个流域渠系有效利用系数仅为 0.346。本文根据中国境内阿克苏河协合拉水文站实测冰川突发洪水记录, 分析突发洪水随时间的变化规律及其与气候变化间的关系, 从而为阿克苏河

流域防洪决策提供依据。

2 冰湖溃决洪水特征

(1) 麦茨巴赫湖冰下排水洪水具有突发性, 且暴发洪水的频率高。由于冰川阻塞湖的排水不仅与冰川湖的水位、水量有关, 而且是否发生迅猛排水还取决于阻塞冰坝的特征, 因此, 该冰川湖的突发性排水往往发生在消融期或其后的高水位期, 且排水活动时间较短。麦茨巴赫湖突发洪水历史至少可以追溯到 1902 年, 此时, G. 麦茨巴赫发现了该冰川湖的存在。据中国新疆水利厅阿克苏水文水资源勘测大队对历史洪水的调查, 1906 年该地区曾发生了 $2\,520\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪峰流量, 且本世纪初、1932~1938 年及 1940~1943 年各时段发生的洪水事件均与此冰川湖的排水活动有关。根据 Виноградов (1977) 和 G. N. Golubev (1974) 等的观测和研究, 1932~1954 年间麦茨巴赫湖共发生洪水 13 次; 阿克苏地区昆马力克河协合拉水文站自建站观测以来至 1997 年, 由于麦茨巴赫湖暴发的洪水事件共 37 次, 即 1932~1997 年 56 年中共发生突发排水 50 次, 频率高达 89%, 一些时段几乎年年暴发, 而一些年份该湖可有两次突发洪水。

(2) 麦茨巴赫湖突发洪水多发生于夏秋季节, 因而多与冰川表面消融有直接的关系。在中国境内的阿克苏河协合拉水文站观测的所有洪水事件中, 7~9 月发生冰川湖突发洪水 29 次, 占总洪水次数的 78%, 其余 8 次则出现于 5~6 月。就单个月份发生溃决洪水的频率而言, 8 月和 9 月出现的次数最多, 分别为 13 和 9 次, 占总次数的 35% 和 27%, 7 月份共出现 6 次; 秋冬季节多出现于 10~12 月, 但次数相对较少 (有 5 次)。夏初冰川湖突发性洪水只观测到 3 次, 而春季的 1~4 月则无洪水暴发。由多数冰湖突发洪水出现的主要月份可以看出, 恰好与冰川表面的强烈消融季节相一致。

(3) 冰川湖突发洪水涨水缓慢、落水迅速。由于夏、秋季是高山雪冰强烈融化的季节, 因而在山区河流中往往形成与高山冰川和积雪有关的消融型洪水, 而多数突发洪水叠加于该消融型洪水之上, 从而在径流过程中表现为涨水缓慢, 过了峰顶, 然后迅速下落。洪水历时一般 7~8 d, 最短历时为 5 d, 最长可达 18 d, 涨洪段通常占总历时的 80%。

表 1 吉尔吉斯斯坦天山气象站累年平均气温及典型年份各月气温距平 ()

Table 1 Long - term monthly air temperatures and monthly air temperature departures for the typical years at Tianshan Meteorological Station , Kirgizstan ()

月份 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1930 ~ 1987 平均	- 21.7	- 19.5	- 13.6	- 6.5	- 1.1	2.1	4.4	4.0	- 0.5	- 6.5	- 14.8	- 19.6
1958	0.5	- 0.5	1.2	1.2	- 2.9	- 0.5	0.6	- 1.6	0.9	- 0.2	- 2.6	2.6
1963	0.8	2.4	1.9	0.5	1.4	0.7	- 0.4	- 0.8	0.2	0.1	- 1.6	1.8
1966	2.1	0.9	0.4	- 1.0	- 1.8	1.6	- 0.5	0.7	1.6	- 0.5	- 3.5	0.1
1978	- 1.8	- 0.1	- 0.6	2.5	1.8	1.3	1.6	0.6	1.4	0.1	- 2.7	3.5
1980	0.5	1.7	- 1.2	1.3	2.5	- 0.1	1.1	0.3	1.3	1.8	4.4	1.4

(4) 麦茨巴赫湖排水后湖水位上升迅速，一
年内有发生两次溃决洪水的可能性。1964 年排水
后于 7 月 13 日至 8 月 2 日，湖水位平均每昼夜上
升 0.4 ~ 1.0 m (Алхутов и др , 1966) ; 1966 年排
水一个月后，曾观测到于 9 月 24 日 16 : 00 至 26
日 18 : 00 共 50 个小时内水位上涨了 4.32 m
(Айрапетьянц, и др , 1971) , 另据 Виноградов
(1977) 对距离麦茨巴赫湖不远处的另一冰川阻塞
湖进行观测表明，该湖发生排水后一周内又恢复到
排水前的湖水位。鉴于该冰川湖具有排水后湖水位
迅速恢复的特征，有必要研究其发生的机制，并加
强对该冰川湖及周围冰川的监测。

3 冰湖突发洪水与气候的关系

从上一节的介绍不难看出，大部分冰湖洪水事
件发生于夏秋季节，因此其必然与麦茨巴赫湖的蓄
水过程有密切的关系。由冰的物理特征可知，只有
温度上升到 0 以上时才能产生消融，而产生的融
水也只有在消融区表面温度接近于 0 时才能够产
流。因此麦茨巴赫湖在一年中何时开始蓄水，则完
全取决于冰面消融产流的起始时间，而在夏季 7 ~
9 月哪个月份发生排水并造成突发洪水，则取决于
各个月份冰川表面接收热量的多寡，即各个月份冰
面的消融强度。

为更好地说明冰湖溃决与气候间的关系，表 1
根据麦茨巴赫湖几次典型溃决洪水年份气候状况进
行分析，所列 5 个年份除 1958 年外，其它 4 年均
有两次冰川湖溃决洪水事件。由于资料有限，仅以
吉尔吉斯天山气象站（原苏联科学院地理研究所天
山自然地理站）的气温、降水资料为基础进行讨
论。由吉尔吉斯斯坦天山气象站气温年内过程与发
生冰湖突发洪水的月份相对比，不难看出：

(1) 1978 年 5 月 24 日麦茨巴赫湖发生突发洪
水，吉尔吉斯天山气象站观测到的各月气温表明，

该洪水与 4 ~ 10 月份的高气温天气有关，其中 4 月
份平均气温高于 1930 ~ 1987 年多年平均值 2.5 ，
而 5 月份则高出 1.8 ；1963 年 6 月 6 日发生突发
洪水，则有所不同，该年份从 1 月份开始到 6 月各
月气温均高于多年平均值，其中 3 ~ 4 月平均气温
高出多年平均气温 0.5 ~ 1.9 。在这两个年份分
别于 1963 年 9 月 18 日和 1978 年 8 月 8 日均又有
一次冰湖突发洪水，但是 1963 年夏季 7 ~ 8 月份的
气温偏低、9 月份仅偏高 0.2 ；1978 年 7 ~ 9 月
均为高温天气。这两种类型的气温变化与引发冰湖
排水的关系说明：升温早但升温缓慢与升温迟但升
温幅度大同样可以使冰川产生大量的融水，冰湖蓄
水量快速增加，并引发冰川湖突发洪水。

(2) 冰湖冬季排水同样也与气温变化有密切的
变化。我们以 1958 年 11 月 27 日的一次洪水为例，
该洪水与 4 ~ 7 月气温低，而 7 月和 9 月维持相对
较高的气温有关，这是整个夏季均处于缓慢蓄水的
一种排水类型。

(3) 而一年中分别于 5 月 27 日和 9 月 12 日发
生两次冰川湖突发洪水的 1980 年则较特殊，该年
份除 3 月和 6 月外，各月平均气温均高于多年平均
值，尤其是 5 月份，气温高于多年平均值 2.5 ，
而在该月月末发生溃决。之后，各月气温仍大大高
于累年各月平均气温，其中 11 月份平均气温高出
4.4 。因此认为 5 月溃决之后，由于气温仍很高，
冰川消融仍十分强烈，并产生大量融水补充到该冰
川湖，从而导致麦茨巴赫冰川湖再度发生突发洪水
的现象。

(4) 7 ~ 8 月份发生冰川湖溃决洪水在麦茨巴
赫湖突发洪水事件中具有普遍性，这与气温的年内
变化过程中 7 ~ 8 月份往往是一年中气温最高的月
份有关，而 7 ~ 8 月份又是冰川表面消融最强烈的
月份，因而从冰川上产生大量的融水补充该冰川湖
并导致冰川湖溃决洪水。

4 冰川湖突发洪水时间变化及其特征

根据中国境内昆马力克河出口协合拉水文站观测的洪水系列可知, 50 年代以来发生冰湖突发洪水的频率不断增加, 夏季和冬季冰湖突发洪水洪峰流量和每次突发的总洪水量呈逐年增加的趋势(图 2), 尤其是 1981~1987 年每年夏季均有一次这种洪水。洪峰流量与每次总洪水量时间序列趋势分析表明, 洪峰流量具有每年增加 $13.69 \text{ m}^3/\text{s}$ 和总洪水量具有每年增加 $0.03 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的发展势头, 如 1994 年 7 月的溃决洪水, 洪峰流量达 $2\,200 \text{ m}^3/\text{s}$, 为 1956 年以来协合拉水文站所记录的最大洪峰流量。

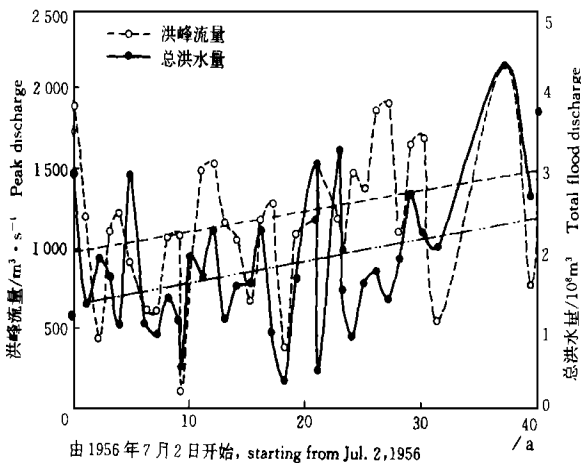


图 2 麦茨巴赫冰川湖溃决洪水洪峰流量和总洪水量逐年变化

Fig. 2 Yearly variation of the peak and total discharges of the Jokulhlaups from the Lake Mertzbakher

此外, 发生突发洪水的频率、洪峰流量和总洪水量所呈现出的增加趋势与天山山区气温表现出的升温趋势相一致。吉尔吉斯天山站 1930~1997 年 68 年来的气温变化表明该气象站记录的升温速率可达 $0.012 \text{ }^\circ\text{C}/\text{a}$, 若按此速率计算, 1930~1987 年的升温幅度达 $0.66 \text{ }^\circ\text{C}$ (图 3), Aizen *et al.*, (1996) 对中国西天山与吉尔吉斯、哈萨克斯坦天山地区气温时间变化分析表明, 天山山区的升温十分明显, 中国西天山和吉尔吉斯、哈萨克境内天山地区平均升温速率为 $0.01 \text{ }^\circ\text{C}/\text{a}$, 而中央天山(中国天山、塔里木盆地北部天山地区)升温尤为明显, 可达 $0.012 \text{ }^\circ\text{C}/\text{a}$, 而且这种升温主要是由于夏季的显著升温造成的。同期中央天山的降水时间序

列表明, 其并无明显的增多趋势, 降水的变率相对较小。西天山和北天山的降水却增加明显。中国西天山以西的天山山区冬、春季雪盖和积雪厚度均表现出递减的格局, 雪盖维持时间也有所减少。平均而言, 积雪厚度减少了 10 cm , 积雪时间缩短了 9 d 。深入分析和研究认为, 由于气温升高, 液态降水(雨水)的比率增大, 因而导致积雪资源相对减少。笔者应用冰川学方法, 对乌鲁木齐河流域 150 条冰川 1964~1992 年的冰川长度的分析表明, 各冰川退缩量相当于研究时段平均气温上升了 $0.35 \pm 27 \text{ }^\circ\text{C}$, 而乌鲁木齐河源大西沟气象站 1959~1993 年 35 a 间降水也表现出递减的趋势, 递减量在 14 mm 左右。

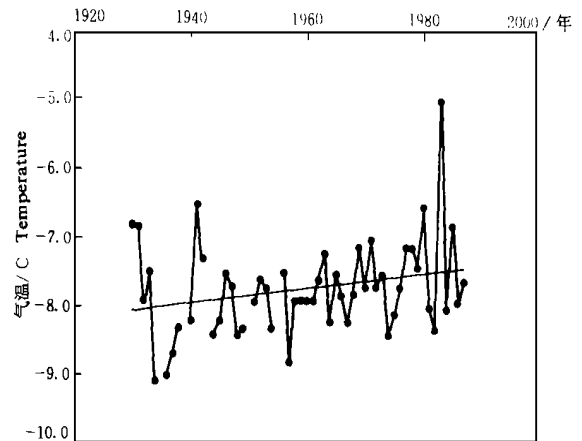


图 3 吉尔吉斯天山站 1930~1987 年 58 a 来的气温变化

Fig. 3 Temporal variation of air temperature at Tianshan Meteorological Station, Kirgizstan (1930~1987)

由以上各类资料的分析说明, 50 年代以来, 升温具有区域一致性, 且冰川处于强烈消融和退缩状态。由于冰川强烈消融, 冰川融水径流应处于增加之中, 可想而知, 麦茨巴赫湖来自冰川融水的补给量是十分丰富的。由于冰川消融加强, 向麦茨巴赫湖输入的水量也逐年增加, 因而麦茨巴赫冰湖发生突发洪水事件的频率、每次发生暴发时的洪水总量与洪峰流量必然趋于增加; 另一方面, 由于冰川消融强烈, 天山山区各观测冰川多表现出强烈的退缩趋势, 因此, 南、北伊力尔切克冰川也不例外, 随着北伊力尔切克冰川冰面与冰下消融加强, 冰川不断退缩, 麦茨巴赫湖的蓄水空间也在不断扩大, 因此蓄水潜力增强。不言而喻, 随着温室效应的加

强, 未来气温的进一步升高, 麦茨巴赫湖发生突发洪水的频率势必增加, 由于洪水总量趋于增加, 洪峰流量增大, 洪水造成的灾害可能会更严重。

5 小结

由麦茨巴赫冰湖突发洪水随时间的变化及其与气候间关系的分析结果, 可得以下初步结论:

(1) 麦茨巴赫冰川湖蓄水、排水及一年内的二次排水取决于当年南、北伊力尔切克冰川表面消融期开始时间的早晚、消融期持续时间的长短以及冰面消融强度, 因而与年内气温变化过程密切相关, 消融期开始的早, 则有可能于夏初发生突发洪水, 若夏、秋季持续高温, 则有可能于夏、秋季乃至冬季发生突发洪水, 这种发生突发洪水在时间上的不确定性和突发性, 往往给洪水预报和防洪减灾带来极大的困难。

(2) 麦茨巴赫冰川湖具有几乎年年发生突发洪水的历史, 该冰川湖突发洪水的洪峰流量及一次洪水的总洪水量呈逐年增加的趋势, 这种趋势与天山地区在过去近半个世纪以来气温变化呈现出的温暖化有密切的关系。考虑到作为该冰川湖的阻塞坝和排水通道的南伊力尔切克 14 km 长的冰舌区不可能在短期内消失, 麦茨巴赫冰川湖将会存在相当一个时期, 因此, 如果未来气温变化仍然朝着温暖化方向发展, 我们至少可以推断麦茨巴赫冰川湖突发性洪水的洪峰流量与总洪水量将会越来越大。

近年来新疆维吾尔自治区水利厅、自治区防洪办公室、自治区水利厅阿克苏水文水资源勘测大队及阿克苏地区有关部门, 对昆马力克河麦茨巴赫湖突发洪水给予了密切的关注, 阿克苏水文水资源勘测大队利用昆马力克河出山口协合拉水文站加强对突发洪水的监测和预报工作, 但是鉴于造成这种突发洪水的成因, 我们认为这种洪水监测是十分被动的, 而且不能提前预报, 从而给下游防洪工作带来一定的困难。为此我们建议应尽早建立起一套针对麦茨巴赫冰川湖突发洪水的监测与预警系统, 从而大大提高阿克苏及周围地区防洪和抗洪能力, 减少洪水灾害所造成的损失, 确保洪水危害地区的工农业生产安全、顺利地开展。

致谢: 本研究得到中国科学院兰州冰川冻土研究所所长基金的资助。史正涛和张志忠及新疆维吾尔自治区水利厅阿克苏水文水资源勘测大队王顺德

提供了十分宝贵的资料, 特表谢忱。

参 考 文 献

- 刘景时, 1993. 天山南坡昆马力克河冰川阻塞湖暴发洪水及其对河流水情的影响. 水文, (1): 25 ~ 29
- 张祥松, 周聿超等著, 1990. 喀喇昆仑山叶尔羌河冰川湖突发洪水研究. 北京: 科学出版社. 174 ~ 197
- 陈储军, 刘明, 张帆, 1996. 西藏年楚河冰川终碛湖溃决条件及洪水估算. 冰川冻土, 18 (4): 347 ~ 352
- Aizen V, Aizen E, Melack J, 1996. Climatic and hydrological changes in the Tianshan, Central Asia. J. Climate, 10 (6): 1 393 ~ 1 404
- Clarke G K C, 1982. Glacier outburst flood from "Hazard Lake", Yukon Territory, and the problem of flood magnitude prediction. Journal of Glaciology, 28 (98): 3 ~ 21
- Clarke G K C, 1987. A short history of scientific investigations on glaciers. Journal of Glaciology, Special Issue, 4 ~ 24
- Lliboutry L, 1968. General theory of subglacial cavitation and sliding of temperate glaciers. Journal of Glaciology, 7 (49): 21 ~ 58
- Lliboutry L, 1979. Local friction laws for glaciers: a critical review and new openings. Journal of Glaciology, 23 (89): 67 ~ 95
- Mathews W H, 1973. Record of two jokulhlaups. In: Symposium on Hydrology of Glaciers. Proc. of the symposium held at Cambridge. England, 7 - 13 September 1969. IAHS Publ. 95: 99 ~ 110
- Nye J F, 1969. A calculation on the sliding of ice over a wavy surface using a Newtonian viscous approximation. Proc. of the Royal Society, Series A, 311 (1 506): 445 ~ 467
- Nye J F, 1970. Glacier sliding without cavitation in a linear viscous approximation. Proc. of the Royal Society of London, Series A, 315 (1 522): 381 ~ 403
- Sino - Nepalese Investigation of Glacier Lake Outburst Floods in the Himalayas. 1988. Report on the first expedition to glaciers and glacier lake in the Pumqu (Arun) and Poiqu (Bhote - Sun Kosi) River Basins, Xizang (Tibet), China. Beijing: Science Press, 1 ~ 192
- Thorarinsson S, 1939. The ice - dammed lakes of Iceland, with particular reference to their values as indicators of glacier oscillations. Geogr. Annaler. 21: 216 ~ 262
- Weertman J, 1957. On the sliding of glaciers. Journal of Glaciology, 3 (21): 33 ~ 38
- Weertman J, 1962. Catastrophic glacier advances. IAHS Publ. 58: 31 ~ 39
- Weertman J, 1964. The theory of glacier sliding. Journal of Glaciology, 15 (39): 279 ~ 303
- Xu Daoming, 1988. Characteristics of debris flow caused by outburst of glacial lake in Boqu River in Xizang, China, 1981. Geojournal, 17 (4): 569 ~ 580
- Алов Н А и др, 1966. Ледник Северный Иньльчек и озеро Мерцбахера. - 《Материалы гляциологических исследований》, вып М, Изд- во ИГАН СССР, с 259 ~ 261
- Айетьянц С Э, Баков Е К, 1971. Морфология ледникового озера Мерцбахера и механизм его катастрофических прорывов В сб: Некоторые закономерности оледенения Тянь - Шаня Фрунзе, 《Илим》, с. 75 ~ 84
- Вирадов Ю Б, 1977. Гляциальные Прорывные Паводки и Селевые Потоки Гидрометеиздат Ленинград 6 ~ 41

Jokulhlaup Characteristics of the Lake Mertzbakher in the Tianshan Mountains and Its Relation to Climate Change

L IU Shi - Yin CHEN G Guo - Dong L IU Jing - Shi

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract The relationship between jokulhlaup from the Lake Mertzbakher in the Tianshan Mts. and climatic parameters, esp. air temperatures, is analysed based on the long - term records of the outburst floods since 1956. It can be concluded that monthly air temperature variation, which gives rise to the change of ablation duration and rate of the South and North Inilchek Glaciers, play an important role in the fluctuations of the water level and the drainage of the Lake Mertzbakher. A general increasing trend has been prevailed in the temporal variation of peak and total discharges of the jokulhlaup floods of the lake. Such an increasing trend is well coincided with the regional warming in the Tianshan Mountains during the last few decades.

Key words Lake Mertzbakher, jokulhlaup, regional warming